
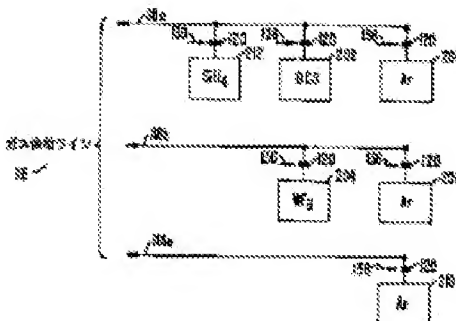


**DICHLOROSILANE BASE TUNGSTEN SILICIDE CHEMICAL VAPOR DEPOSITION  
PROCESS AND SYSTEM****Publication number:** JP10294295**Publication date:** 1998-11-04**Inventor:** TOSHIO ITO; CHANG MEI**Applicant:** APPLIED MATERIALS INC**Classification:****- international:** C23C16/02; C23C16/42; H01L21/28; H01L21/285;  
H01L21/28; C23C16/02; C23C16/42; H01L21/02; (IPC1-  
7): H01L21/285; C23C16/42**- European:** C23C16/02H2; C23C16/42; H01L21/285B4A;  
H01L21/285B4H**Application number:** JP19970343000 19971212**Priority number(s):** US19960764471 19961212**Also published as:** US6297152 (B1)

Report a data error here

**Abstract of JP10294295**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To improve Si/W ratio of an interface of a WSi layer on an Si board doped at high concentration by introducing tungsten containing gas to a deposition chamber, stopping the introduction and thereafter introducing silicon containing gas, stopping the introduction and thereafter introducing DCS and tungsten containing gas. **SOLUTION:** In a first step of a deposition process of a WSi thin film, tungsten containing gas such as WF<sub>6</sub> is introduced to a deposition chamber. Then, introduction of WF<sub>6</sub> is stopped and silicon containing gas such as SiH<sub>4</sub> is introduced to a chamber. Lastly, inflow of SiH<sub>4</sub> is stopped during a third step and DCS and WF<sub>6</sub> are introduced to a chamber and a tungsten silicide layer is deposited on a substrate. While a first line 118a supplies silicon containing gas to a gas mixing system, a second line 118b supplies WF<sub>6</sub> to a mixing system. A third gas supply line 118c introduces inert purge gas from a lower part of a chamber.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-294295

(43) 公開日 平成10年(1998)11月4日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 L 21/285

C 2 3 C 16/42

識別記号

3 0 1

F I

H 0 1 L 21/285

C 2 3 C 16/42

3 0 1 T

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平9-343000

(22) 出願日 平成9年(1997)12月12日

(31) 優先権主張番号 08/764471

(32) 優先日 1996年12月12日

(33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレイテッド

APPLIED MATERIALS, INCORPORATED

アメリカ合衆国 カリフォルニア州

95054 サンタ クララ パウアーズ アベニュー 3050

(72) 発明者 トシオ イトウ

アメリカ合衆国, カリフォルニア州,

パロ アルト, プリンストン ストリート 2291

(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外4名)

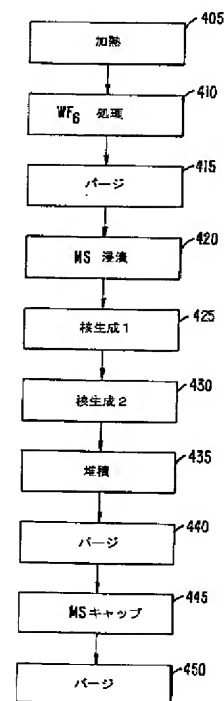
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ジクロロシランベースのケイ化タンゲステン化学蒸着プロセス及びシステム

(57) 【要約】

【課題】 改良されたWSi<sub>x</sub>層を形成するための方法及び装置を提供する。

【解決手段】 WF<sub>6</sub>をチャンバ内に導入するWF<sub>6</sub>処理ステップ410、WF<sub>6</sub>の導入を停止するパージステップ415、珪素含有ガス、例えばSiH<sub>4</sub>をチャンバ内に導入するMS浸漬ステップ420、WF<sub>6</sub>とDCSをチャンバ内に導入して薄膜の核形成、堆積を行うステップ425、430、435を備える。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上にケイ化タングステン層を堆積させる化学蒸着プロセスであって、

(a) 基板を堆積領域に配置するステップと、

(b) 第1堆積段階の間、タングステン含有ガスを前記堆積領域に導入するステップと、

(c) 前記第1段階後の第2堆積段階の間、

(i) タングステン含有源とケイ素含有源からなるプロセスガスを前記堆積領域に導入し、

(ii) 前記基板上にケイ化タングステン層を堆積させるのに適した処理状態に堆積領域を維持するステップと、  
を備える化学蒸着プロセス。

【請求項2】 (d) 前記第1段階と第2段階の間の第3堆積段階の間に、前記第1段階からの前記タングステン含有源の導入を停止し、前記堆積領域に不活性ガスを導入して前記領域から前記タングステン含有源をパージするステップ、  
をさらに備える請求項1記載の化学蒸着プロセス。

【請求項3】 (e) 前記第3段階と第2段階の間の第4堆積段階の間に、ケイ素含有源を前記堆積領域に導入するステップ、  
をさらに備える請求項2記載の化学蒸着プロセス。

【請求項4】 前記第1堆積段階の間に導入される前記タングステン含有ガスは、 $WF_6$ 、 $WCl_6$ 、 $WOF_4$ 、 $WOCl_4$ 、もしくは $W(CO)_6$ のいずれかからなる請求項1記載の化学蒸着プロセス。

【請求項5】 前記第1堆積段階の間に導入される前記タングステン含有源は、約5 sccm以下の流量で前記堆積領域に導入される請求項4記載の化学蒸着プロセス。

【請求項6】 前記第1堆積段階の間に導入される前記タングステン含有源は、前記堆積領域に60秒未満の期間導入される請求項5記載の化学蒸着プロセス。

【請求項7】 前記第1堆積段階は、

(i) 前記堆積領域に通じるソースラインに前記タングステン含有ガスを流入させるステップと、

(ii) 前記タングステン含有源を前記堆積領域から排気ラインに迂回させるステップと、

(iii) 前記タングステン含有源の流れを停止させるステップと、

(iv) 前記ソースラインに不活性ガスを流入させるステップと、

(v) 前記ソースライン内の前記タングステン含有源の残留量が前記堆積領域に導入されるように、前記不活性ガスを前記堆積領域に導入するステップと、  
を備えている請求項1記載の化学蒸着プロセス。

【請求項8】 基板上にケイ化タングステン層を堆積させる化学蒸着プロセスであって、

(a) 基板処理チャンバの堆積領域に基板を配置する

ステップと、

(b) 第1堆積段階の間に、ケイ素含有源を前記堆積領域に導入せずに、 $WF_6$ を前記堆積領域に導入するステップと、

(c) その後、第2堆積段階の間に、 $WF_6$ の導入を停止し、ケイ素含有ガスを前記堆積領域に導入するステップと、

(d) その後、第3堆積段階の間に、 $WF_6$ とジクロロシランを前記堆積領域に導入して前記基板上に前記ケイ化タングステン層を堆積させるステップと、  
を備える化学蒸着プロセス。

【請求項9】 前記第3堆積段階は、核生成及び堆積ステップからなり、前記核生成ステップでは前記堆積領域は第1圧力レベルにあり、前記堆積ステップでは前記堆積領域は前記第1圧力より低い第2圧力にある請求項8記載の化学蒸着プロセス。

【請求項10】 前記第2堆積段階は、

(i) 前記 $WF_6$ の導入を停止するステップと、

(ii) その後、前記堆積領域に不活性ガスを導入して前記領域から $WF_6$ をパージするステップと、

(iii) その後、前記堆積領域に前記ケイ素含有ガスを導入するステップと、  
を備える請求項8記載の化学蒸着プロセス。

【請求項11】 前記ケイ素含有ガスが $SiH_4$ またはジクロロシランからなる請求項8記載の化学蒸着プロセス。

【請求項12】 前記第1堆積段階の間、前記 $WF_6$ は前記堆積領域に約5 sccm以下の流量で約10秒以内導入される請求項8記載の化学蒸着プロセス。

【請求項13】 前記 $WF_6$ は、前記堆積領域に基板処理チャンバ体積の0.1～50,000ppmの間の量導入される請求項8記載の化学蒸着プロセス。

【請求項14】 前記 $WF_6$ は、前記堆積領域に基板処理チャンバ体積の1～100ppmの間の量導入される請求項8記載の化学蒸着プロセス。

【請求項15】 請求項8記載の化学蒸着プロセスによって形成される集積回路。

【請求項16】 真空チャンバを形成するハウジングと、

前記ハウジング内に配置され、前記真空チャンバ内に基板を保持する基板ホルダーと、

前記基板を前記真空チャンバ内に移動させ、前記基板を前記基板ホルダー上に位置決めする基板移動システムと、

前記真空チャンバにプロセスガスを導入し、前記基板上に層を堆積させるガス吐出システムと、  
前記真空チャンバ内を選択された温度に維持する温度管理システムと、

前記真空チャンバ内を選択された圧力に維持する圧力管理システムと、

前記基板移動システム、前記ガス吐出システム、前記温度管理システム及び前記圧力管理システムを制御するコントローラと、  
 前記コントローラを制御するコンピュータで実行可能なプログラムを保持するコンピュータで読み取り可能な媒体からなる前記コントローラに結合されたメモリと、  
 を備えており、  
 前記コンピュータで実行可能なプログラムは、  
 前記基板移動システムを制御して前記基板を前記基板ホルダー上及び前記堆積領域内に移動させる第1の命令セットと、  
 前記ガス吐出システムを制御して、第1堆積段階の間に前記真空チャンバ中にタングステン含有ガスを導入する第2の命令セットと、  
 前記ガス吐出システムを制御して、前記第1堆積段階に続く第2堆積段階の間に、タングステン含有ガスとケイ素含有ガスからなるプロセスガスを前記真空チャンバ中に導入する第3の命令セットと、  
 前記温度及び圧力管理システムを制御して、前記第2堆積段階の間、前記基板上にケイ化タングステン層を堆積させるのに適した所定の温度と圧力に前記真空チャンバ内を維持する第4の命令セットと、  
 を備えている基板処理システム。

【請求項17】 前記コンピュータで実行可能なプログラムは、前記ガス吐出システムを制御して、前記第1段階と第2段階の間の第3堆積段階の間、前記第1段階からの前記タングステン含有ガスの導入を停止し、前記真空チャンバに不活性ガスを導入して前記堆積領域から前記タングステン含有ガスをパージする第5の命令セットをさらに備えている請求項16記載の基板処理システム。

【請求項18】 前記コンピュータで実行可能なプログラムは、前記ガス吐出システムを制御して、前記第3段階と第2段階の間の第4堆積段階の間、前記真空チャンバにケイ素含有ガスを導入する第6の命令セットをさらに備えている請求項17記載の基板処理システム。

【請求項19】 前記第2の命令セットは、前記ガス吐出システムを制御して、前記タングステン含有源として $WF_6$ を前記真空チャンバに導入する請求項16記載の基板処理システム。

【請求項20】 前記第2の命令セットは、前記ガス吐出システムを制御して、約5 sccm以下の流量で $WF_6$ を前記真空チャンバに導入する請求項19記載の基板処理システム。

【請求項21】 前記第2の命令セットは、前記ガス吐出システムを制御して、60秒未満の間 $WF_6$ を前記真空チャンバに導入する請求項19記載の基板処理システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は集積回路の製作に関する。より詳細には、本発明は改良されたケイ化タングステン( $WSi_x$ )薄膜を形成する方法及び装置を含む技術を提供する。

【0002】

【従来の技術】集積回路技術の進歩により素子の寸法が縮小化し、またチップサイズと複雑さが増大するにつれて、近接して配置される相互接続ラインには、以前に使用されていたラインより小さな断面積を持つラインが求められるようになってきている。これらの相互接続ラインの小さな断面積が抵抗熱の発生を増大させる一方、ラインの近接した間隔が熱放散を減少させる。この増大する抵抗熱の発生と減少した熱放散の組み合わせが、部品の故障を引き起こし得る高温を生じさせることがある。更に、より高い抵抗率がRC時定数を増大させ、その結果回路の遅延時間に影響を及ぼす。高速回路用には短い遅延時間が望ましい。

【0003】この問題を克服するために、これらの改良型集積回路において使用するポリシリコン薄膜より低い抵抗率を有する耐熱性のケイ化金属薄膜が開発された。かかるケイ化金属薄膜は、より短い遅延時間を有し、回路内における熱発生が少ない回路をもたらす。ゲート金属化のために、低抵抗率のケイ化タングステン薄膜が多結晶ケイ素(ポリシリコン)の層上に堆積され、「ポリサイド」構造と呼ばれる層状構造を形成する。かかるポリサイド構造の2つの例を図1(a)と図1(b)に示す。図1(a)では、 $WSi_x$ 薄膜10がポリシリコン薄膜15の上に堆積され、電界効果トランジスタの一部であるゲート構造20を形成している。このトランジスタはシリコン基板5の上に製作され、ソース領域25とドレイン領域30を含んでいる。図1(b)では、 $WSi_x$ 薄膜40がソース/ドレイン領域50への接点構造の一部として、ポリシリコン層45の上に堆積されている。

【0004】 $WSi_x$ 層を形成するには多くの方法がある。例えば、一般的な技術の一つは、モノシラン( $SiH_4$ ) (またここでは"MS"とも称する)と六フッ化タングステン( $WF_6$ )の熱反応から $WSi_x$ 層を作り出す。別の方法は、ジクロロシラン( $SiH_2Cl_2$ ) (以後、"DCS"と称する)を $WF_6$ と反応させる。いくつかのDCSベースの $WSi_x$ プロセスは、モノシランプロセスより優れたステップ取れん、低応力及び低フッ素含有量を示し、いくつかの用途に対してはMSベースのプロセスより好ましい。しかしながら、これらの改良された薄膜特性にも関わらず、DCSベースの $WSi_x$ プロセスにも問題がないとはいえない。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】DCSベースのプロセスの問題の一つは、基板上に形成すべき薄膜を得ることに関する。いくつかの用途では、特定の核生成ステップ

を使用しない限り、DCSとWF<sub>6</sub>からWSi<sub>x</sub>薄膜を成長させることは困難である。DCSベースのプロセスの別の問題は、堆積の初期段階（つまり、堆積されるWSi<sub>x</sub>薄膜と基板、もしくはその上にWSi<sub>x</sub>薄膜が堆積される他の層との界面付近—この領域はしばしば「界面領域」と称される）では、堆積薄膜中にタングステンが多く存在する（タングステンリッチになる）傾向である。この問題は図2（a）に示されており、それはある先行技術におけるDCSによるWSi<sub>x</sub>薄膜中のケイ素とタングステンの比を示すグラフである。この先行技術のDCSによるWSi<sub>x</sub>薄膜では、図2（a）に示すように、ケイ素／タングステン比（線60）は薄膜界面付近でかなり低下する。かかるタングステンリッチ界面層の形成は、処理の最終段階における完全に処理済みのウェーハの焼なまし中にWSi<sub>x</sub>層の層間剥離を生じさせる。更に、下にあるポリシリコン層からケイ素が不足したWSi<sub>x</sub>層へのケイ素原子の原子移動により、空隙が作られることがある。かかるケイ素の原子移動は素子の性能に悪影響を及ぼし得る。

【0006】更にDCSベースのWSi<sub>x</sub>薄膜の別の問題は、下記に説明するように、ある場合には堆積薄膜のシート抵抗に変動があることである。DCSによりWSi<sub>x</sub>薄膜を堆積させる際に、n個のウェーハ（一部のプロセスではnは15～25である）を処理し、それからチャンバ洗浄ステップを開始することが一般的であり、この洗浄ステップは次のn個のウェーハのバッチを処理する前に、チャンバの内壁から付着したWSi<sub>x</sub>を除去する。更に、n個のウェーハを処理する前に、洗浄ステップの後でチャンバを「枯らす」ことが一般的である。枯らしは基板を置かずにチャンバ内にWSi<sub>x</sub>薄層を堆積させることによって行われる。この枯らし層は洗浄ステップの後、チャンバ壁に残るかもしれない汚染物及び残留物を被覆し、これらの汚染物が次のWSi<sub>x</sub>堆積ステップの邪魔をするのを防止する助けをする。かかる枯らしステップの例はアプライド・マテリアルズ社に譲渡された米国特許第5,482,749号に記載されている。

【0007】シート抵抗の変動は、例えば、n個の基板の処理中に、しばらくの間堆積チャンバがアイドル状態である（つまり、基板を処理していない）場合に発生する。この問題は図2（b）に示されており、図2（b）において線70は洗浄ステップと枯らしステップの後連続してウェーハの上に堆積されたWSi<sub>x</sub>薄膜の抵抗率（ $\rho$ ）を示している。図2（b）に示すように、アイドル期間75（これは、例えば、システムの故障のために発生するかもしれない）の後に処理される基板上に堆積されたWSi<sub>x</sub>層の第1結合層は次の堆積層、及び前の堆積層より低い抵抗率を持つ。この問題は「アイドル効果」と称されている。

【0008】界面領域におけるSi/W比を増加し、ア

イドル効果を低減するために一部の製造業者が取るあるステップは、WSi<sub>x</sub>核生成及び堆積ステップの前に、モノシラン処理ステップ（「MS浸漬」とも称される）を採用することである。MS浸漬ステップにおいて、続くWSi<sub>x</sub>堆積のための付加的なケイ素を提供するために、SiH<sub>4</sub>がチャンバに導入される。MS浸漬ステップについては、1994年9月27日に出願され、本発明の譲受人であるアプライド・マテリアルズ社に譲渡された、米国特許出願08/314,161号に詳細に記載されている。当該出願はあらゆる目的のために参照文献とすることで本明細書に内挿される。

【0009】堆積プロセスの1段階として、かかるMS浸漬ステップで堆積されたWSi<sub>x</sub>薄膜は、その界面層において改良されたSi/W比を持ち、アイドルタイム後に処理された基板上に層が堆積される場合に少ない抵抗率変動を示す。例えば、抵抗率の変動はMS浸漬ステップの後堆積されるWSi<sub>x</sub>層により減少される（図2（b）の破線72）。また、WSi<sub>x</sub>層がノンドープもしくは低濃度ドープのポリシリコン層上に堆積される用途においては、MS浸漬ステップで堆積される薄膜のSi/W比は、図2（a）において線62で示されるように改良される。これらのWSi<sub>x</sub>薄膜は多くのアプリケーションに利用できる。

【0010】これらの改良が重要である一方、他のアプリケーションのために更なる改良が望まれる。例えば、MS浸漬ステップはリンでドーピングされたポリシリコン上に堆積されるWSi<sub>x</sub>薄膜のSi/W比を改良するにはあまり効果がない（図2（a）において点線64で示されている）。このようなケースでは、ドーピングされたポリシリコンからのリンが次に導入されるWF<sub>6</sub>の分解に触媒効果を持つと考えられる。このように、WSi<sub>x</sub>薄膜がリンで高濃度にドーピングされたポリシリコン（例えば、約 $2.0 \times 10^{20}$  atoms/cm<sup>3</sup>のリン濃度を持つポリシリコン）上に堆積される場合、タングステンリッチの界面層が形成されやすい。更に、改良されたとは言え、アイドル効果による抵抗率の変動は、非常に小さなサイズを特徴とするプロセスのためにはまだまだ大きい。これらのプロセスにおいては、かかる変動を避けるために、チャンバはアイドル期間の後前もって再枯らし処理される。

【0011】従って、WSi<sub>x</sub>薄膜の堆積及び特にDCSベースのWSi<sub>x</sub>薄膜の堆積の改良が望まれており、絶えず研究されている。

【0012】本発明は改良されたWSi<sub>x</sub>層を形成するための方法及び装置を提供することを課題とする。本発明の方法は特にDCSベースのWSi<sub>x</sub>アプリケーションに適用できるが、他のWSi<sub>x</sub>堆積方法においても使用され得る。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明により堆積される

ケイ化タングステン薄膜は薄膜界面において改良された $Si/W$ 比を持つ。改良された $Si/W$ 比は、当業者が作用するであろうと考えることに対して反直観的である方法で達成され、本発明者達が $Si/W$ 比もしくはアイドル効果のいずれにも関連しない別の問題を解決しようとする努力においてアプローチを試みた時に単に作用することが見い出された。発明者達が工夫した方法は元の問題を解決しなかったが、その方法で堆積された薄膜は、リン等のドーパントで高濃度にドーパされたシリコン基板上に $WSi_x$ 層が堆積される場合にも、界面における改良された $Si/W$ 比が得られることを発見した。更に、発明者達は本発明がアイドル効果によるシート抵抗率の変動をかなり減少させることを見出した。

【0014】本発明はフッ素含有量が $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下、好ましくは $1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下の $WSi_x$ 層を対象としている。 $WSi_x$ 層が使用される用途においては、この層は500~2000オングストロームまでの間の厚さで堆積されるのが一般的である。本発明の方法を使用して、 $WSi_x$ 薄膜のケイ素/タングステン比に対して高度の制御を得ることが可能である。好ましくは、本発明により堆積される $WSi_x$ 層は、 $WSi_x$ 層の全厚みを通してほぼ均一なケイ素/タングステン比を示す。「ほぼ均一」とは、 $WSi_x$ 層の各層内の平均ケイ素/タングステン比が、 $WSi_x$ 層の厚み全体に渡る平均バルク値の $\pm 10\%$ の間であることを意味する。典型的に、ケイ素/タングステン比の平均バルク値は2.0から2.8の間である。より好ましくは、平均値は2.2から2.6の間である。 $WSi_x$ 層はドーパ/ノンドーパのポリシリコン層、ドーパ/ノンドーパのシリコン基板及びドーパ/ノンドーパの酸化ケイ素層または他の層上にそのような略均一の方法で堆積され得る。

【0015】一実施形態においては、 $WSi_x$ 薄膜は多重ステップの化学蒸着法を使用して堆積される。堆積プロセスの第1ステップは、 $WF_6$ が堆積チャンバに導入される前処理ステップを含む。次に、 $WF_6$ の導入が停止され、ケイ素含有ガス、例えば、 $SiH_4$ がチャンバに導入される。最後に、第3ステップの間に、 $SiH_4$ 流入が停止され、 $DCS$ と $WF_6$ がチャンバに導入されて、基板上にケイ化タングステン層を堆積させる。

【0016】

【発明の実施の形態】本発明のこれらの態様及び他の態様、及びその利点と特徴について、添付図面を参照して、以下に詳細に説明する。

【0017】I. イントロダクション

本発明は、 $WSi_x$ 層の堆積前の前処理ステップとして、 $WF_6$ 等のタングステン含有ガスを堆積チャンバに導入することによって、改良されたケイ化タングステン薄膜の堆積を可能にする。本発明の方法によって堆積される薄膜は、0.35ミクロン以下の線幅を有する集積回

路の製作に使用するのに適している。更に、本発明は従来のデザインのCVDチャンバにおいて $WSi_x$ 薄膜を堆積するためにも使用できる。

【0018】II. 具体例としてのCVDリアクタチャンバ

図3は本発明によるケイ化タングステン層を堆積することができる真空チャンバ115を有する簡略化された平行平板化学蒸着法(CVD)システム100の一実施形態を示す。CVDシステム100はガス分配マニホールド111を含み、マニホールド111内の貫通孔を通して、チャンバの堆積領域内のサセプター112の上に置かれたウェーハ(図示せず)にプロセスガスを拡散させる。サセプター112は高度に熱反応性であり、支持台113の上に装着されているので、サセプター112(及びサセプター112の上面に支持されたウェーハ)を、下部ローディング/オフローディング位置とマニホールド111に近接した上部処理位置114の間を制御可能に動かすことができる。中央ボード(図示せず)はウェーハの位置に関する情報を提供するセンサを含む。

【0019】サセプター112とウェーハが処理位置114にある時、それらは複数の間隔を開けて配置され、環状の真空マニホールド124へと排気する孔123を有するバッフルプレート117に囲まれている。堆積ガス及びキャリアガスは、供給ライン118を介して混合システム119に供給され、そこでそれらのガスが混合され、マニホールド111に送られる。更に、場合によっては、堆積ガス及びキャリアガスをライン118から直接マニホールド111に向けることも可能であり、望ましい。かかる場合には、ガス混合システム119をバイパスする。

【0020】図6に示されるように、全体で3つのガス供給ライン118がある。第1のライン(118a)がケイ素含有ガス(例えば、 $DCS$ 源202からの $DCS$ )をガス混合システム119に供給する一方、第2のライン(118b)が $WF_6$ 源204から $WF_6$ を混合システムに供給する。各ライン118a、118bに対して、ガス流を適当に安定化させ、混合システムへの2つのライン間のガス流を平衡させるためのプロセスで、キャリアガス(例えばアルゴン源206、208からのアルゴン)を供給できる。かかるチャンバ115の上流でのガス( $DCS$ と $WF_6$ )の混合は、チャンバ内においてより均一なガス分布を生ぜしめ、それによって堆積される $WSi_x$ 薄膜のより卓越した均一性を生じさせると考えられる。第3のガス供給ライン118(c)は不活性パージガス(例えば、アルゴン源210からのアルゴン)をチャンバの下部から導入し、サセプター112の下のチャンバ領域に堆積ガスを近づけないようにする。好適実施形態においては、付加的なケイ素源(例えば、シラン)を付加的なガス源212から供給してもよい。

【0021】一般に、各プロセスガス用の供給ライン1

118は、(i)チャンバへのプロセスガス流を自動的にもしくは手動で遮断するために使用できる安全遮断弁(図示せず)、及び(ii)供給ラインを流れるガスもしくは液体の流量を測定する質量流量コントローラ120を具備する。プロセスにおいて有毒ガスを使用する場合、従来の構成では各ガス供給ラインにそれぞれ数個の安全遮断弁を配置する。ガス混合システム119への堆積ガス及びキャリアガスの供給レートは、液体/ガス質量流量コントローラ120及び/もしくは弁によって制御される。処理中に、マニホールド111に供給されるガスは、矢印121で示されるように、層流でウェーハ表面に向かって、ウェーハ表面に均一な放射状分布で排出される。その後、排気システムによりポート123を介して、ガスは環状の真空マニホールド124へと排気され、そして(図示しない)真空ポンプシステムによって排気ライン131から排気される。排気ライン131を通して放出されるガスの量は絞り弁132によって制御される。

【0022】CVDシステム100において実施される堆積プロセスまたは次の洗浄プロセスは、熱プロセスもしくはプラズマ向上プロセスのいずれであってもよい。プラズマプロセスでは、RF電源125からマニホールド111に印加されるRFエネルギーによって、制御されたプラズマがウェーハに隣接して形成される。マニホールド111はまたRF電極でもあり、一方サセプター112は接地される。RF電源125は単一もしくは混合周波数のRF電力(もしくは他の所望の変形)をマニホールド111に供給し、チャンバ115に導入される反応性核種の分解を促進する。

【0023】熱は外部ランプモジュール126によって分配される。外部ランプヒーターモジュール126は石英窓128を通してサセプター112の環状の外周部分へと、平行化された環状パターンの光127を供給する。かかる熱分布はサセプターの自然熱損失パターンを補正し、堆積をもたらすためにサセプターとウェーハの急速で均一な加熱を行う。

【0024】典型的には、チャンバライニング、ガス分布マニホールドフェースプレート、支持台113、及び他の様々なリアクタ装置の全てが、アルミニウムもしくは陽極処理アルミニウム等の材料から作られる。かかるCVD装置の例は、Changらに対して付与され、本発明の出願人であるアプライド・マテリアルズ社に譲渡された、"Thermal CVD/PECVD Reactor and Use for Thermal Chemical Vapor Deposition of Silicon Dioxide and In situ Multi-step Planarized Process"(熱的CVD/PECVD反応器及び二酸化ケイ素の熱的化学蒸着法のための使用法、及び現場多重ステップ平坦化プロセス)と題された米国特許第5,000,113号に記載されており、当該特許はあらゆる目的のために参照文献とすることで本明細書に挿入される。

【0025】モーター(図示せず)が処理位置114と下部のウェーハローディング位置の間でサセプター112を上下させる。モーターと光学センサを使用して、絞り弁132及びサセプター112のような移動可能な機械部品の位置を動かし、決定する。供給ライン118、ガス吐出システム、絞り弁132、RF電源125、及びランプマグネットドライバに接続されるヒーター、モーター、弁もしくはフローコントローラ120は全て制御ライン136を介してシステムコントローラ134によって制御されるが、その一部だけを図示している。

【0026】システムコントローラ134はCVDマシンの全ての動作を制御する。システムコントローラは、メモリ138等のコンピューターで読取り可能な媒体に記憶されたコンピュータープログラムであるシステム制御ソフトウェアを実行する。好ましくは、メモリ138はハードディスクドライブであってもよいが、メモリ138は他の種類の記憶装置であってもよい。コンピュータープログラムは、タイミング、ガス混合、チャンバ圧力、チャンバ温度、RF電力レベル、サセプター位置、及び特定のプロセスの他のパラメーターを変更する命令セットを含む。もちろん、例えば、フロッピーディスクまたは他の別の適当なドライブを含む別の記憶装置に記憶されるもののような他のコンピュータープログラムもプロセッサ134を操作するために使用できる。

【0027】好適実施形態では、システムコントローラはハードディスクドライブ(メモリ138)、フロッピーディスクドライブ及びカードラックを含む。カードラックはシングルボードコンピュータ(SBC)プロセッサ137、アナログデジタル入力/出力ボード、インターフェイスボード及びステップモータコントローラボードを含む。CVDシステム100の様々な部品は、ボード、カードケージ及びコネクタの寸法やタイプを規定するVersa Modular Europeans(VME)基準に準拠している。VME基準は更に、16ビットのデータバス及び24ビットのアドレスバスを有するバス構造も規定している。

【0028】ユーザーとプロセッサ134間のインターフェイスは図4に示されるようにCRTモニター150a及びライトペン150bを介して行われる。ここで図4は、1つ以上のチャンバを含むことができる、多重チャンバシステムのシステムモニターとCVDシステム100を示す簡略図である。好適実施形態では、2つのモニター150aが使用され、1つはオペレーター用のクリーンルームの壁面に取り付けられ、他の1つはサービス技術者用の壁内に取り付けられる。両モニター150aは同じ情報を同時に表示するが、一方のライトペン150bだけが使用可能である。ライトペン150bは、ペン先にある光センサでCRT表示が発する光を検出する。特定の画面または機能を選択するためには、オペレーターは表示画面の所定範囲に触れ、ペン150b



上のボタンを押す。オペレーターが触れた範囲はそのハイライト色が変わるか、あるいは新しいメニューまたは画面が表示され、ライトペンと表示画面間の通信を確認する。もちろん、ユーザーがプロセッサ134と通信するために、キーボード、マウス、もしくは他のポインティングあるいは通信デバイス等の他の機器をライトペン150bの代わりに、あるいはライトペン150bに加えて使用してもよい。

【0029】薄膜を堆積するためのプロセスは、プロセッサ134によって実行されるコンピュータプログラムの成果を用いて実施できる。コンピュータプログラムコードは、68000アセンブリ言語、C、C++、パスカル、フォートラン等の、従来からある任意のコンピュータ判読可能なプログラミング言語で書くことができる。適当なプログラムコードは、従来のテキストエディターを使用して1つのファイルもしくは複数のファイルに入力され、コンピュータのメモリシステム等のコンピュータが使用可能な媒体に記憶されるか組み込まれる。入力されたコード文が高レベル言語である場合、コードはコンパイルされ、生成されたコンパイラコードが予めコンパイルされたウインドウライブラリルーチンのオブジェクトコードとリンクされる。リンクされ、コンパイルされたオブジェクトコードを実行するために、システムユーザーはオブジェクトコードを呼び出す、つまり、コンピュータシステムにそのメモリにコードをロードさせ、プログラムによって特定されるタスクを遂行するためCPUがメモリからコードを読み出して実行する。

【0030】図5は、特定の実施形態における、システム制御ソフトウェア、コンピュータプログラム170の階層的制御構造を図示するブロック図である。ユーザーはライトペンインターフェイスを使用して、CRTモニター上に表示されるメニューまたはスクリーンに応じて、プロセス選択サブルーチン173にプロセスセット番号とプロセスチャンバ番号を入力する。プロセスセットとは特定のプロセスを実行するために必要なプロセスパラメーターの所定のセットであり、予め定義されたセット番号によって識別される。プロセス選択サブルーチン173は、所望のプロセスを遂行するためにプロセスチャンバを操作するのに必要となる(i)所望のプロセスチャンバと、(ii)所望のプロセスパラメーターのセットを識別する。特定のプロセスを遂行するためのプロセスパラメーターは、例えば、プロセスガス組成、流量等のプロセス状態に関連し、温度、圧力、RF電力レベル及びチャンバ壁温度等がレシピ形式でユーザーに示される。プロセスレシピによって特定されるパラメーターは、ライトペン/CRTモニターインターフェイスを利用して入力される。

【0031】プロセス監視信号は、システムコントローラのアナログ入力及びデジタル入力ボードによって供給

され、プロセス制御信号はCVDシステム100のアナログ出力およびデジタル出力ボードから出力される。

【0032】プロセスシーケンササブルーチン175は、同定されたプロセスチャンバとプロセスパラメーターセットをプロセスセレクトサブルーチン173から受け取り、様々なプロセスチャンバの操作を制御するプログラムコードからなる。複数のユーザーがプロセスセット番号とプロセスチャンバ番号を入力することができ、あるいは一人のユーザーが複数のプロセスセット番号とプロセスチャンバ番号を入力することができ、その結果シーケンササブルーチン175は、所望の順序で選択されたプロセスのスケジュールをたてる働きをする。好ましくは、シーケンササブルーチン175は(i)チャンバが使用されているかどうかを判断するためにプロセスチャンバの操作を監視するステップと、(ii)使用中のチャンバにおいてどのプロセスが実行されているかを判断するステップと、(iii)空いているプロセスチャンバと実施すべきプロセスタイプに基づいて、所望のプロセスを実行するステップと、を実行するためのプログラムコードを含む。ポーリング等のプロセスチャンバを監視する従来の方法を使用することができる。どのプロセスを実行すべきかのスケジュールを組む場合、選択されたプロセスに対する望ましいプロセス状態と使用中のプロセスチャンバの現在の状態を比較して考慮するよう、あるいはユーザー毎にが入力したリクエストの「エージ」、もしくはスケジュールの優先度を決定するためにシステムプログラマーが含またいと望む他の関連要素を考慮するよう、シーケンササブルーチン175を設計することができる。

【0033】シーケンササブルーチン175が次にどのプロセスチャンバ及びプロセスセットの組み合わせを実行するかを決定すると、シーケンササブルーチン175は、シーケンササブルーチン175によって決定されるプロセスセットに従って、プロセスチャンバ115において多重処理タスクを制御するチャンバマネージャサブルーチン177a～cに特定のプロセスセットパラメーターを送ることによって、プロセスセットを実行する。例えば、チャンバマネージャサブルーチン177aはプロセスチャンバ115においてCVDプロセス及びプラズマ洗浄プロセス操作を制御するプログラムコードからなる。チャンバマネージャサブルーチン177はまた選択されたプロセスセットを実施するために必要なチャンバ部品の操作を制御する様々なチャンバ部品サブルーチンの実行を制御する。チャンバ部品サブルーチンの例としては、基板位置決めサブルーチン180、プロセスガス制御サブルーチン183、圧力制御サブルーチン185、ヒーター制御サブルーチン187、及びプラズマ制御サブルーチン190がある。当業者であれば、プロセスチャンバ115においてこういったプロセスの実施を望むかに応じて、他のチャンバ制御サブルーチンを含む



ことができることが容易に認識できるであろう。操作時、チャンバマネージャサブルーチン177aは実行中の特定のプロセスセットに従って、プロセス成分サブルーチンを選択的にスケジューリングするか、もしくは呼び出す。チャンバマネージャサブルーチン177aは、シーケンササブルーチン175が次にどのプロセスチャンバ115及びプロセスセットを実行すべきかのスケジュールを作成するのと同じように、プロセス成分サブルーチンをスケジューリングする。典型的に、チャンバマネージャサブルーチン177aは様々なチャンバ部品を監視するステップ、実行すべきプロセスセット用のプロセスパラメーターに基づいてどの部品を操作する必要があるかを判断するステップ、及び監視及び判断ステップに応じてチャンバ部品サブルーチンを実行させるステップを含む。

【0034】次に、図5を参照して特定のチャンバ部品サブルーチンの動作について説明する。基板位置決めサブルーチン180は、基板をサセプター112上にロードし、チャンバ115内で随意に基板を所望の高さに持ち上げて、基板とガス分配マニホールド111間の間隔を制御するために使用されるチャンバ部品を制御するプログラムコードからなる。基板がプロセスチャンバ115にロードされると、サセプター112が基板を受け取るために下げられ、その後、サセプター112がチャンバ内で所望の高さに上げられて、CVDプロセスの間、ガス分配マニホールドから第1の距離もしくは間隔に基板を維持する。動作時、基板位置決めサブルーチン180は、チャンバマネージャサブルーチン177aから伝達される支持台の高さに関するプロセスセットパラメーターに応じて、サセプターの移動を制御する。

【0035】プロセスガス制御サブルーチン183は、プロセスガスの組成と流量を制御するプログラムコードを有する。プロセスガス制御サブルーチン183は、安全遮断弁の開閉位置を制御し、所望のガス流量を得るため質量流量コントローラを上下にランプ制御する。プロセスガス制御サブルーチン183は、全てのチャンバ部品サブルーチンと同様に、チャンバマネージャサブルーチン177aによって呼び出され、所望のガス流量に関するプロセスパラメーターをチャンバマネージャサブルーチンから受け取る。典型的に、プロセスガス制御サブルーチン183はガス供給ラインを開くことによって作動し、(i)必要な質量流量コントローラを読み出し、(ii)その示度をチャンバマネージャサブルーチン177aから受け取った所望の流量と比較し、(iii)必要に応じて、ガス供給ラインの流量を調節することを繰り返し行う。更に、プロセスガス制御サブルーチン183は危険な流量でないかどうかガス流量を監視し、危険な状態が検出された場合には、安全遮断弁を作動させるステップを含む。

【0036】いくつかのプロセスでは、チャンバ内に反

応性のプロセスガスが導入される前に、チャンバ内の圧力を安定させるためにアルゴン等の不活性ガスをチャンバ115に流入させる。これらのプロセスに対しては、プロセスガス制御サブルーチン183は、チャンバ内の圧力の安定化のために必要な時間の間、チャンバ115に不活性ガスを流入させるステップを含むようにプログラムされ、それから上記のステップが実施される。加えて、プロセスガスが液体前駆物質、例えば、テトラエチルオルトシラン("TEOS")から気化される場合、プロセスガス制御サブルーチン183は、バブラー部分中の液体前駆体中にヘリウム等の放出ガスを通過させて泡立たせるステップ、あるいはヘリウム等のキャリアガスを液体噴射システムに導入するステップを含むように書かれるであろう。バブラーをこのタイプのプロセスに使用する場合、プロセスガス制御サブルーチン183は、所望のプロセスガス流量を得るために、放出ガスの流れ、バブラー内の圧力、及びバブラー温度を調節する。上述のように、所望のプロセスガス流量はプロセスパラメーターとしてプロセスガス制御サブルーチン183に伝達される。更に、プロセスガス制御サブルーチン183は、所与のプロセスガス流量に対する必要な値を含む蓄積された表にアクセスすることによって、所望のプロセスガス流量に必要な放出ガス流量、バブラー圧力、及びバブラー温度を得るステップを含む。必要な値が得られたなら、放出ガス流量、バブラー圧力、及びバブラー温度が監視され、必要な値と比較され、それによって調節される。

【0037】圧力制御サブルーチン185は、チャンバの排気システム115内の絞り弁の開放度を調節することによってチャンバ115内の圧力を制御するためのプログラムコードからなる。絞り弁の開放度は、全体のプロセスガス流、プロセスチャンバの大きさ、及び排気システム115に対するポンプ設定圧力に関連して、チャンバ圧力を所望のレベルに制御するよう設定される。圧力制御サブルーチン185が呼び出されると、所望の、もしくは目標の圧力レベルがチャンバマネージャサブルーチン177aからパラメータとして受け取られる。圧力制御サブルーチン147は、チャンバに接続される1つ以上の従来の圧力計測計の値を読み出し、測定値を目標圧力と比較し、記憶されている圧力表から目標圧力に対応するPID(比例、積分、微分)値を入手し、圧力表から入手したPID値に従って絞り弁を調節する。あるいは、チャンバ115を所望の圧力に調節するために、特定の開放度に絞り弁を開閉するよう、圧力制御サブルーチン185に書き込むことができる。

【0038】ヒーター制御サブルーチン187は基板120加熱のために使用されるランプモジュールの温度を制御するためのプログラムコードからなる。ヒーター制御サブルーチン187もチャンバマネージャサブルーチン177aから呼び出され、目標、もしくは設定温度バ

ラメーターを受け取る。ヒーター制御サブルーチン187は、サセプター112内に位置する熱電対の電圧出力を測定することによって温度を測定し、測定した温度を設定温度と比較し、設定温度を得るためにランプモジュール126に印加される電流を増大もしくは減少させる。温度は、測定された電圧から記憶された変換表内の対応する温度を調べる、あるいは4次多項式を使用して計算することによって得られる。サセプター112を加熱するために放射ランプを使用する場合、ヒーター制御サブルーチン187がランプに印加される電流の上下へのランプを漸進的に制御する。漸進的な上下へのランプ制御により、ランプの寿命と信頼性を増大させる。加えて、プロセスの安全性コンプライアンスを検出するために、内蔵式フェイルセーフモードを具備することができ、またプロセスチャンバ115が適正に調整されていない場合、ランプモジュール126の操作を止めることができる。

【0039】プラズマ制御サブルーチン190は、チャンバ115においてプロセス電極に印加される低周波及び高周波のRF電力レベルを設定し、また使用される低周波RF周波数を設定するプログラムコードからなる。前述のチャンバ部品サブルーチンと同様に、プラズマ制御サブルーチン190はチャンバマネージャサブルーチン177aから呼び出される。

【0040】上述のリアクタの説明は主として説明を目的としたものであり、電子サイクロトロン共鳴(ECR)プラズマCVD装置、誘導結合RF高密度プラズマCVD装置等の他のCVD装置も使用できる。加えて、サセプターデザイン、ヒーターデザイン、RF電力周波数、RF電力接続位置等の変形等、上記システムの変形も可能である。例えば、ウェーハを抵抗加熱されたプラテンによって支持、加熱することができる。本発明の層及びかかる層を形成する方法は、特定の装置もしくは特定の励起方法に制限されない。

【0041】III. 安定したケイ化タングステン薄膜の堆積

本発明の方法は、上記の具体例として示したCVDチャンバ等の基板処理チャンバにおいて、改良されたWSi<sub>x</sub>薄膜を堆積するために使用できる。本方法は特にDCS及びWF<sub>6</sub>前駆体ガスから堆積されたWSi<sub>x</sub>薄膜の特性を改良するために適用できるが、他の方法で堆積されたWSi<sub>x</sub>薄膜の特性を改良するためにも適用できる。

【0042】図7は1500オングストロームのWSi<sub>x</sub>層を堆積するために使用される本発明の好適なプロセスを示している。可能な限り下記の説明において図3～6の具体例のチャンバの適切な要素を参照して用いられたのと同じ参照番号を使用する。このプロセスはCVDシステム10のメモリ38に蓄積されるコンピュータープログラムを使用して実施され、また制御される。

【0043】図7における第1のステップは、ウェーハ

を550℃の処理温度にまで加熱するために使用される加熱ステップ(ステップ405)であり、この温度は後続の堆積ステップ(ステップ410～450)の間中維持される。更に、ステップ405において、アルゴンがガスライン118a、118b及び118cを介して、各々400、400、700sccmの流量でチャンバ内に導入され、チャンバ内の圧力は絞り弁132を調節することによって、3torrに設定される。ステップ405の完了と同時に、WF<sub>6</sub>処理ステップ(ステップ410)が行われ、ここではWF<sub>6</sub>が微小流量(1.0sccm)でチャンバ115に5秒間導入される。このWF<sub>6</sub>処理ステップは本発明の鍵である。このステップは基板表面に付加的なタングステン原子を供給し、成長する薄膜に組み込まれるタングステンの量を減少させる。この説明は直観に反しているように思われるが、その有用性を立証する実験と共にそれがどのように作用するかの説明をより詳細に下記に記す。

【0044】ステップ410の完了後、アルゴン導入は続くが、WF<sub>6</sub>のフローはパージステップ(ステップ415)で停止され、このステップでは、WF<sub>6</sub>とステップ420において続いて導入されるSiH<sub>4</sub>との望ましくないガス反応を防止するために、残留するWF<sub>6</sub>が洗い流される。このパージステップは10秒間続く。ステップ420(MS浸漬ステップ420)では、400sccmの流量で約30秒間SiH<sub>4</sub>がガスライン118aを介して導入され、ライン118aを通るアルゴンフローが停止される。

【0045】次に、薄膜の核生成が始まり、それは2つの別々のステップ、ステップ425とステップ430を含む。ステップ425では、絞り弁132が50%開かれ、圧力を3torrから1.5torrに急低下させる。ライン118bを介して、3.5sccmの流量でWF<sub>6</sub>が導入され、500sccmで導入されたアルゴンと混合される。SiH<sub>4</sub>のフローが停止され、代わりにDCSがライン118aを通して175sccmの流量で導入され、300sccmで導入されたアルゴンと混合される。このステップは5秒間続く。ステップ430によって、圧力が1.5torrに達しており、全てのガスフローは15秒間続けられる。薄膜の大部分はステップ435において堆積される。このステップでは、圧力を更に1.0torrまで低下させる一方、他のパラメーターは無変更である。この好ましいプロセスにおいて、堆積を58秒間実施し、基板上に1500オングストロームの薄膜を堆積する。

【0046】堆積が完了した後、パージステップ(ステップ440)を3秒間実施し、ここでライン118aのアルゴンフローと共にWF<sub>6</sub>フローが停止される。ライン118aでDCSを導入する流量を300sccmまで上昇させ、ライン118bでアルゴンを導入する流量を300sccmまで低下させる。パージステップ44

0の完了後、10秒間のMS処理ステップを実行し（ステップ445）、それによって堆積された薄膜の応力を減少させる。MS処理ステップは、DCSの導入の停止と、その代わりに $\text{SiH}_4$ を300sccmの流量で導入することを含む。最後に、ライン118aの $\text{SiH}_4$ フローが300sccmのアルゴンフローと置き換えら

れ、絞り弁を5秒間全開する最後のパージステップ（ステップ450）が行われ、チャンバを洗浄する。この好適プロセスを下記の表1に要約して示す。

【0047】

【表1】

好適なDCSベースのタングステンケイ化プロセス										
ステップ	種別	蒸着パラメータ								
		時間 (sec)	圧力 (torr)	温度 (°C)	$\text{WF}_6$ (sccm)	DCS (sccm)	$\text{SiH}_4$ (sccm)	Ar 118a (sccm)	Ar 118b (sccm)	Ar 118c (sccm)
405	加熱	30	3.0	550	0	0	0	400	400	700
410	$\text{WF}_6$ 処理	5	3.0	550	1.0	0	0	400	400	700
415	パージ	10	3.0	550	0	0	0	400	400	700
420	MS 浸漬	30	3.0	550	0	0	400	0	400	700
425	核生成1	5	1.5	550	3.5	175	0	300	500	700
430	核生成2	15	1.5	550	3.5	175	0	300	500	700
435	堆積	58	1.0	550	3.5	175	0	300	500	700
440	パージ	3	1.0	550	0	300	0	0	300	700
445	MS 処理	10	1.0	550	0	0	300	0	300	700
450	パージ	5	TVO	550	0	0	0	300	300	700

図4を参照して説明し、また上記表1に記載したプロセスは、従来使用されてきた $\text{WSi}_x$ プロセスと同じであるが、ステップ410（ $\text{WF}_6$ 処理ステップ）とステップ415（パージステップ）を加える点が異なり、これらのステップは本発明の全ての実施形態において使用され得るとは限らない任意のステップである。

【0048】下記に詳細に説明するように、ステップ410の追加により、従来の $\text{WSi}_x$ 層より予想外にかなり改良された薄膜特性を生じさせる。特に、本発明により堆積される薄膜は、高いリン含有量（例えば、 $2 \times 10^{20} \text{ atoms/cm}^3$ ）を有するポリシリコン層上に $\text{WSi}_x$ 層を堆積させる時でも、従来のプロセスにより堆積されるDCSベースの $\text{WSi}_x$ 層のように、薄膜界面においてタングステンの量の増大を示すことがない。更に、本発明により堆積される薄膜の抵抗率は、一時アイドルタイムを有し再枯らし処理もなされていないチャンバ内で $\text{WSi}_x$ 薄膜を堆積させる場合でも相対的に不変である。

【0049】 $\text{WF}_6$ 処理ステップがこれらの特性を改良する理由は完全に理解されていないが、この処理ステップが薄膜表面にタングステン原子の非常に薄い層または部分層（おそらく1原子以下の厚さの層）を提供すると考えられる。タングステン原子は安定しており、基板表面から脱離する可能性もない。したがって、これらのタ

ングステン原子は利用可能であり、MS浸漬ステップ（ステップ420）からのケイ素原子と容易に反応し、あるいは他の実施形態では、核生成ステップにおいて使用されるケイ素源（例えば、 $\text{SiH}_4$ またはDCS）からのケイ素原子と容易に反応して、後続の堆積用の $\text{WSi}_x$ シード層を形成する。

【0050】 $\text{WF}_6$ 処理ステップがなければ、MS浸漬ステップがケイ素原子を基板表面に供給する。これらのケイ素原子が、 $\text{WSi}_x$ 薄膜の後続の堆積のために、（おそらく2原子以下の厚さの）基部シード層を備えると考えられる。しかし場合によっては、ケイ素原子はそれ自体ではあまり安定しておらず、薄膜界面から脱離する可能性があると考えられる。このようにして、界面層のタングステン含有量を減少させることは重要ではあるが、薄膜界面の表面への付加的なケイ素の供給により、全ての場合にこれが達成されるとは限らない。その代わりに、本願発明者達は、タングステン元素を薄膜界面に提供することによって、界面層のタングステン含有量がうまく減少することを見出した。

【0051】 $\text{WF}_6$ 処理ステップの長さは多数の要素に依存して異なる。好ましくは、このステップは1秒～60秒間続き、より好ましくは、3秒～10秒続く。また、 $\text{WF}_6$ のチャンバへの導入流量も変えることができる。好ましくは、 $\text{WF}_6$ は0.01～5sccmの流量

で導入される。これらの数字は酸化ケイ素基板上への $WSi_x$ 層の堆積に基づいている。好ましくは、ポリシリコン基板上に堆積される $WSi_x$ 層にこの処理ステップを使用する場合は $WF_6$ 流量と時間は上記範囲の下端付近になる。ポリシリコン基板を使用する場合に $WF_6$ の導入量が多すぎると、タングステンリッチ層が形成されるかもしれない。チャンバに導入される $WF_6$ の総量は、使用する基板に大きく依存する。ポリシリコン基板に対しては、チャンバに導入される $WF_6$ の総量は、好ましくはチャンバ体積の0.1ppm~5%の間であろう。より好ましくは、 $WF_6$ の量は1~100ppmさらに好ましくは7~50ppmの間である。酸化ケイ素基板に対する総量も同じであるが、但し $WF_6$ 量の上限はない。如何に多くの $WF_6$ が導入されても、核生成を安定化する際に問題がないことが実験により判明した。この処理ステップの間に、ガスフローを安定させるために $WF_6$ ガスと共にアルゴンキャリアガスを導入することが好ましいが、必ずしも必要ではない。アルゴンガスフローは、ガスライン118aと118b間のフローを均等化するような方法で、好ましくは100~1000sccmで導入される。

【0052】いくつかの基板処理装置では、最適の結果を得るために $WF_6$ の導入レートを充分低いレベルに正確に制御することができない。例えば、上記の具体的なシステムでは、 $WF_6$ フローを制御するために使用されるMFCは0.2sccm及び3秒の最小制御可能値を持っている。ある種のポリシリコン基板への $WF_6$ 処理ステップに対しては、これらのパラメータは充分ではない。なぜなら、タングステンリッチ層の形成を避けるには、0.1sccm以下の $WF_6$ 流量が必要であるからである。

【0053】かかるシステムにおいて充分低い $WF_6$ 流量を達成するために、 $WF_6$ 迂回ステップをステップ410として使用できる。プロセスパラメータは上記で説明したものと同じであるが、ステップ410において $WF_6$ とアルゴンガスをチャンバに導入するのではなく、フォアラインに迂回させ、ステップ410における $WF_6$ 流量を0.2sccm（本システムにおいて最低の制御可能量）に減少させる。ガスライン118a及び118bでチャンバへの弁を閉じ、フォアラインへの弁を開くことによってガスをフォアラインに迂回させる。この時700sccmの底部アルゴンパージだけをチャンバに導入する。このステップを5秒間続け、ライン118bに $WF_6$ とアルゴンを満たす。次に、ステップ415において $WF_6$ フローを停止する一方、ライン内のアルゴンフローは無変更のままとする。

【0054】この迂回ステップの背後にある考えは、非常に微量の $WF_6$ を一貫した制御可能な方法でチャンバに導入することである。 $WF_6$ 迂回ステップの間に、ガスライン118bは $WF_6$ とアルゴンの混合物で満たさ

れる。これらのガスフローが安定すると、ガスライン内部に含まれる $WF_6$ 量は選択された $WF_6$ 流量で一定になる。パージステップでは、チャンバへの弁が開かれ、フォアラインへの弁が閉じられ、ステップ410の完了後ガスラインに残る残留 $WF_6$ がアルゴンパージフローによってチャンバに運ばれる。

【0055】この例では、残留ガスの量は約100ccであり、これはいくぶんはガスラインの長さ及び弁の位置によって決定される。 $WF_6$ /アルゴンフロー比は0.2/400であるから、実際には $WF_6$ はわずか0.05ccがチャンバに導入される。初期の $WF_6$ はチャンバを迂回し、直接フォアラインに向けられる。かかる迂回ステップを使用する場合、前の任意のパージステップ415で $WF_6$ ガスがチャンバに導かれる。チャンバに導入される $WF_6$ の量は、 $WF_6$ 迂回ステップにおける $WF_6$ /アルゴン比を変更することによって制御できる。その量は、ライン118bのガスフローが安定した後、そしてパージステップ415の開始直前（例えば、1~2秒前）の時間に、チャンバへの弁を開くことによって制御できる。

【0056】以上の実施形態では、ステップ410及び他のステップにおけるタングステン源として $WF_6$ を使用すると説明してきたが、 $WCl_6$ 、 $WOCl_4$ 、 $WOCl_2$ 、 $W(CO)_6$ 等の他のタングステン源を使用することもできる。本発明はタングステンの特定のガスもしくは液体源に制限されない。更に、MS浸漬/処理ステップ420、445においてケイ素源として $SiH_4$ を使用すると説明してきたが、その代わりにDCSまたは他のケイ素源を使用することができる。加えて、様々なガスが導入される流量及び割合、圧力範囲、温度範囲、プロセス時間及び $WF_6$ 処理ステップ及び他のステップの好適なプロセスに関連して上述の他の堆積パラメータを適当に変えることができる。これらのパラメータの変更が他の特性の中でも、薄膜の均一性、応力及び堆積率に影響を及ぼす。更に、かかる変更は薄膜に組み込まれるケイ素/タングステン比にも影響を及ぼす。好ましくはパラメータは少なくとも100オングストローム/分、より好ましくは、少なくとも500オングストローム/分の堆積率で薄膜を堆積するように選択される。更に、これらのパラメータのいくつかの値、主としてDCS/ $WF_6$ 比は、堆積された $WSi_x$ 薄膜が2.0~2.8の間のケイ素/タングステン比を有するように選択される。ケイ素/タングステン比が約2.0より低い（安定したケイ化タングステン、 $WSi_2$ の化学量論）場合、タングステン含有量が高すぎ、後続の処理ステップ（例えば、焼なましステップ）で層間剥離もしくは他の問題を引き起こすことがある。一般的に、DCS/ $WF_6$ の容積流量比は約5:1から400:1の間である。これら様々なパラメータがケイ素/タングステンの堆積率及び堆積比等の薄膜特性をどのようにもたらすかについ

ての付加的な詳細が、本出願人に譲渡された米国特許第5,558,910号に説明されており、その記載内容は参照文献とすることにより完全に本明細書中に取り込まれる。

【0057】本発明の方法により堆積される薄膜は、 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以下のフッ素含有量、好ましくは $1 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以下のフッ素含有量を有する。本発明の方法を使用してケイ化タングステン薄膜を堆積させることができ、この薄膜は、 $\text{WSi}_x$ 層の全厚みを通して略均一のケイ素/タングステン比を呈する。 $\text{WSi}_x$ 層が使用される用途に応じて、500～2000オングストロームの厚さの層に堆積されるのが一般的である。「略均一の」とは、 $\text{WSi}_x$ 層の各層内の平均ケイ素/タングステン比が、 $\text{WSi}_x$ 層の厚み全体のケイ素/タングステン比の平均バルク値の $\pm 10\%$ であることを意味する。典型的に、ケイ素/タングステン比の平均バルク値は2.0～2.8である。より好ましくは、平均値は2.2～2.6である。 $\text{WSi}_x$ 層はドーパ/ノンドープのポリシリコン層、ドーパ/ノンドープのシリコン基板及びドーパ/ノンドープの酸化シリコン層または他の層の上に略均一の方法で堆積され得る。

【0058】表1に記載され、下記の実験で使用されたプロセスパラメータは、アプライド・マテリアルズ社により製造された200mmウェーハ用の5400ccの体積を有するランプ加熱DCSチャンバにおけるある特定の堆積プロセスのために最適化されている。特定の用途に応じて $\text{WSi}_x$ 層を堆積させるため、上述の処理パラメータの変更に加えて、当業者であればこれらの好適パラメータが一部チャンバ特有のものであり、他のデザイン及び/または体積のチャンバを使用する場合には変化することを認識するであろう。

【0059】IV. テスト結果及び測定結果  
界面で薄膜に組み込まれるタングステン量を減少させるために、薄膜表面にタングステン原子を供給することは直観に反することであるが、本願発明者達が実施した実験の結果はそれが実際の結果であることを立証している。実験では、 $\text{WSi}_x$ 層を本発明を利用して、また利用せずに堆積させた。実験はアプライド・マテリアルズ社製のランプ加熱DCSチャンバで行った。このチャンバを200mmウェーハ用のやはりアプライド・マテリアルズ社製のCentura多重チャンバ基板処理シス

テムの中に配置した。

【0060】最初の実験では、古いプロセスと新規のプロセスの両方を使用して、 $\text{WSi}_x$ 薄膜を25枚の基板の上に堆積させた。古いプロセスはステップ410と415を実施しない点だけが新規のプロセスと異なる。この最初の実験の結果を図8(a)～(c)、図9(a)～(c)に示す。このうち図8(a)～(c)はそれぞれ古いプロセスにより堆積された $\text{WSi}_x$ 薄膜のシート抵抗、均一性及び抵抗率を示しており、図9(a)～(c)はそれぞれ本発明により堆積された $\text{WSi}_x$ 薄膜のシート抵抗、均一性及び抵抗率を示している。図9(a)～(c)に示されるように、本発明により堆積された $\text{WSi}_x$ 薄膜のシート抵抗、均一性及び抵抗率は図8(a)～(c)に示される古いプロセスにより堆積された $\text{WSi}_x$ 薄膜より全ての点で改良されていた。

【0061】図8(a)と図9(a)の比較は、本発明によるプロセス安定性の改良を示している。図8(a)では、(当業者なら理解するように四点プローブによって測定された)シート抵抗は49～520 $\Omega/\text{sq}$ の間で変動する一方、図9(a)ではシート抵抗は10 $\Omega/\text{sq}$ だけ、57.5～58.5 $\Omega/\text{sq}$ の間で変動しただけである。同様に、図8(b)と図9(b)の比較、及び図8(c)と図9(c)の比較で明らかなように、均一性も抵抗率も本発明により堆積された $\text{WSi}_x$ 薄膜の方が改善されていた。図8(c)及び図9(c)では、本発明により堆積された $\text{WSi}_x$ 薄膜のより高い抵抗率が、これらの薄膜界面におけるSi/W比の改善に貢献し得る。これはラザフォード後方散乱分光法(RBS)分析によって確認された。

【0062】図10(a)及び10(b)は、古いプロセスと新規のプロセスにより各々堆積された $\text{WSi}_x$ 層におけるケイ素/タングステン比を示すグラフである。各 $\text{WSi}_x$ 層は1500オングストロームの厚さであり、シリコン基板の上に堆積されている。図の比較から明らかなように、ケイ素/タングステン比は古いプロセスにより堆積された $\text{WSi}_x$ 薄膜の界面領域における方が、本発明により堆積された薄膜の界面領域におけるそれより低くなっている。図10(a)と10(b)に示された薄膜の各層の原子密度、及び他の薄膜特性を表2に示す。

【0063】

【表2】

DCSベースのケイ化タングステン膜分析					
図番	厚さ (Å)	原子数/cm <sup>2</sup>	% Si	% W	Si/W
図10(a)	1000	$5.4 \times 10^{17}$	0.695	0.305	2.279
	200	$1.07 \times 10^{17}$	0.73	0.27	2.704
	300	$1.62 \times 10^{17}$	0.69	0.31	2.226
	15000	$7.5 \times 10^{18}$	1.0	0	---
図10(b)	1000	$5.39 \times 10^{17}$	0.7	0.3	2.333
	400	$2.15 \times 10^{17}$	0.72	0.28	2.571
	15000	$7.5 \times 10^{18}$	1.0	0	---

別の実験では、チャンバを洗浄し、枯らし直後に、W Si<sub>x</sub> 薄膜を7枚のウェーハ（ウェーハ1～7）の上に堆積させ、各堆積薄膜のシート抵抗を測定した。その後、チャンバを14時間アイドルモードに置いた後で別の5枚のウェーハ（ウェーハ8～12）の上にWSi<sub>x</sub>

薄膜を堆積させた。これら薄膜の各々のシート抵抗を測定した。これらの測定結果を最初の7枚のウェーハのシート抵抗と共に下記の表3に記す。

【0064】

【表3】

シート抵抗率測定結果					
「アイドル」期間前			「アイドル」期間後		
ウェーハ	R <sub>s</sub>		ウェーハ	R <sub>s</sub>	
1	56.637		8	56.598	
2	57.237		9	57.277	
3	—		10	57.442	
4	—		11	57.436	
5	—		12	57.702	
6	—				
7	57.572				

表3に記載された測定されたシート抵抗は、アイドル期間の後でウェーハ上に堆積されたWSi<sub>x</sub> 薄膜のシート抵抗の変動と、アイドル期間の前にウェーハ上に堆積されたWSi<sub>x</sub> 薄膜のシート抵抗の変動があまり変わらないことを示している。このように、チャンバを再枯らし処理しなくても、シート抵抗の変動は最小であった。

【0065】さらに別の実験では、DCSチャンバを洗

浄して枯らし処理をし、ウェーハを処理する前に8時間アイドルモードに置いた。8時間後、6枚の基板の上にWSi<sub>x</sub> 薄膜を堆積させ、各WSi<sub>x</sub> 薄膜のシート抵抗、均一性、厚み及び抵抗率を測定した。これらの測定の結果を下記の表4に示す。

【0066】

【表4】

DCSベースのケイ化タングステン膜の測定結果				
ウェーハ	R <sub>s</sub>	均一性	厚み	抵抗率
1	57.459	1.502	1561	897
2	57.993	1.746	1522	883
3	57.941	1.434	1523	882
4	57.880	1.265	1531	886
5	57.795	1.375	1535	887
6	57.922	1.393	1538	891

先行技術のDCSプロセスでは、チャンバを再枯らし処理しないとこのようなアイドル期間の後ではシート抵抗等の薄膜特性は許容範囲を超えて変動した。これら2つの実験は、本発明により堆積されるWSi<sub>x</sub> 薄膜には再枯らし処理が必要でないことを示している。

【0067】上記のプロセス及び実験において記載した

パラメータは、本明細書に記載される請求の範囲を制限すべきではない。当業者なら好適実施形態に関連して説明したもの以外のパラメータ及び条件を使用することができるであろう。上記説明はそれ自体説明を目的としたものであり、限定的なものではない。従って、発明の範囲は上記説明に関連して決定されるべきではなく、請求

の範囲の技術的範囲によって決定されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a) (b) はともにWSi<sub>x</sub>層を使用する集積回路の簡略断面図である。

【図2】先行技術の方法により堆積されたWSi<sub>x</sub>薄膜の特性を示すグラフであって、(a)がケイ素／タンゲステン比を、(b)がシート抵抗率を示している。

【図3】本発明による簡略化された化学蒸着装置の一実施形態の断面図である。

【図4】1つ以上のチャンバを含むことができる、多重チャンバシステムのシステムモニターとCVDシステム100の簡略図である。

【図５】本発明の特定の実施形態におけるシステム制御ソフトウェアであるコンピュータープログラム１７０の階層的制御構造を表すブロック図である。

【図6】図3のガス供給ライン118(a)~118(c)に接続される様々なガス供給を示す簡略図であ

る。

【図7】本発明の好適な実施形態のステップを示すフローチャートである。

【図8】公知の方法により堆積されたWSi<sub>x</sub>薄膜の特性を示すグラフであり、(a)(b)(c)はそれぞれシート抵抗、均一性及び抵抗率を示している。

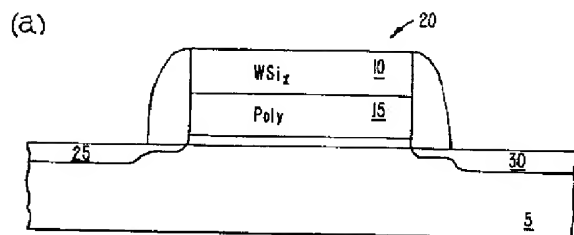
【図9】本発明により堆積されたWSi<sub>x</sub>薄膜の特性を図8とそれぞれ比較したグラフである。

【図10】WSi<sub>x</sub>薄膜のタングステンとケイ素濃度を、従来例と本発明で比較したグラフであり、(a)が従来例、(b)が本発明の特性を示す。

【符号の説明】

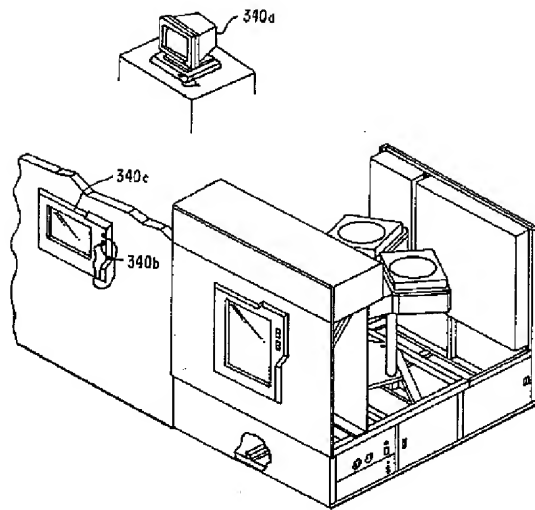
100…CVDシステム、111…マニホールド、112…サセプター、118…供給ライン、119…ガス混合システム、125…RF電源、126…ランプモジュール、131…排気ライン、132…絞り弁、134…コントローラ、138…メモリ。

【图 1】

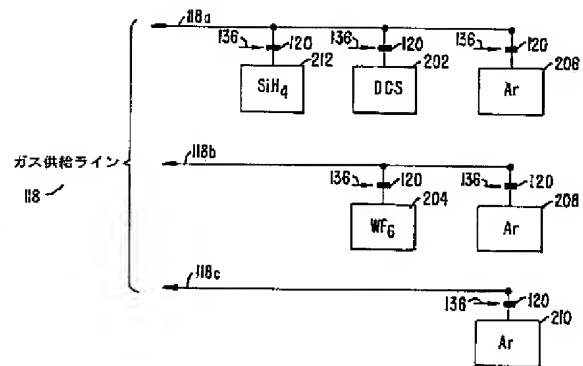




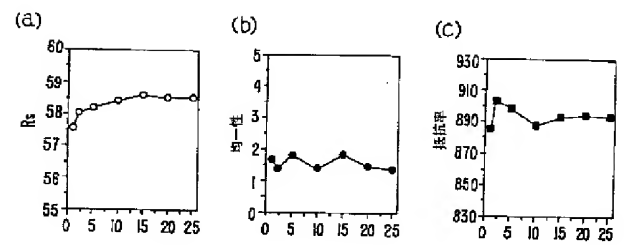
【図4】



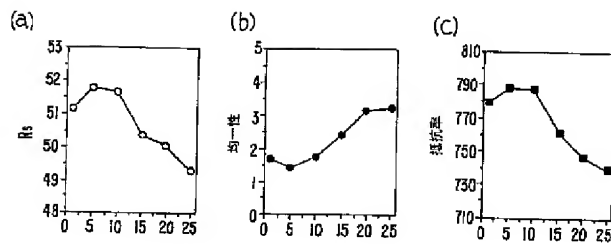
【図6】



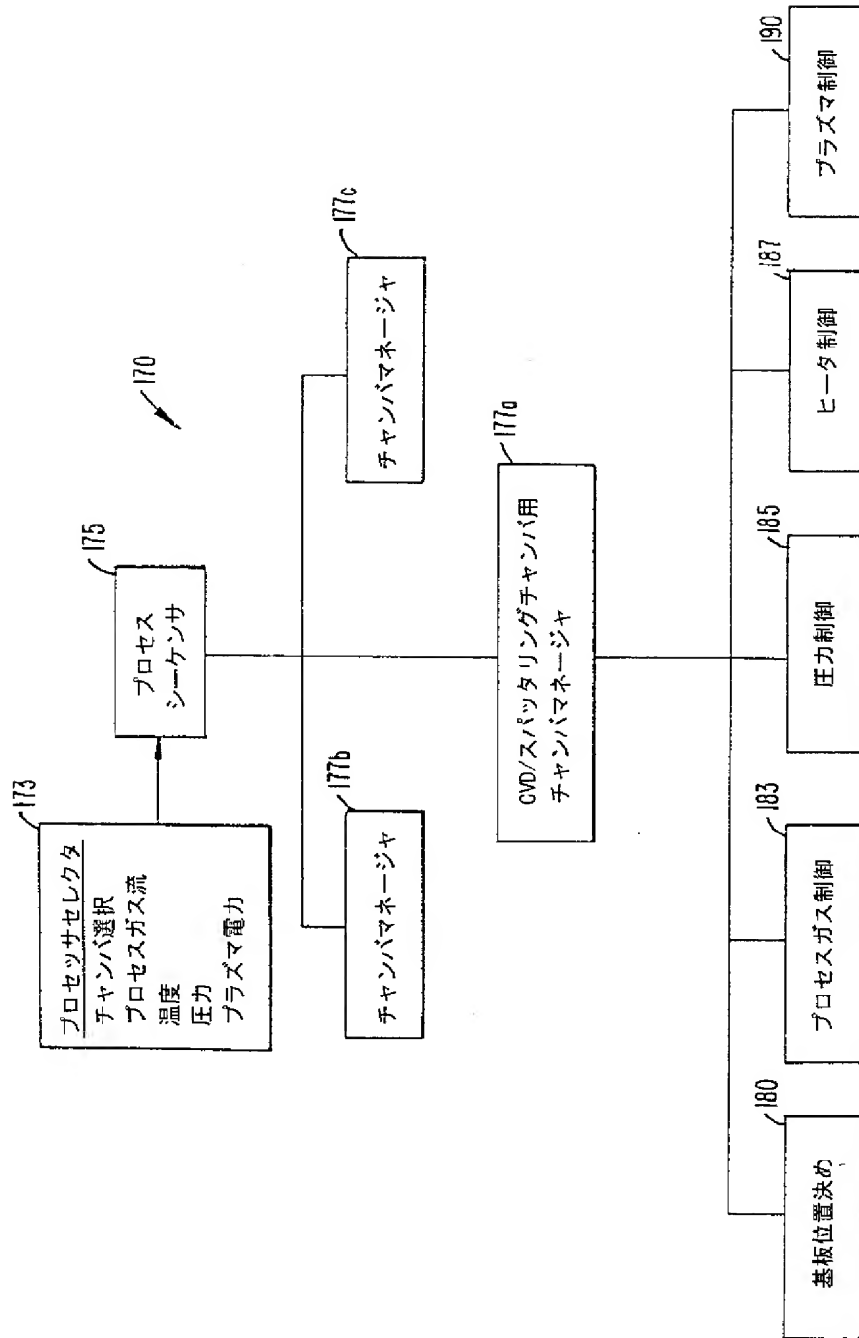
【図9】



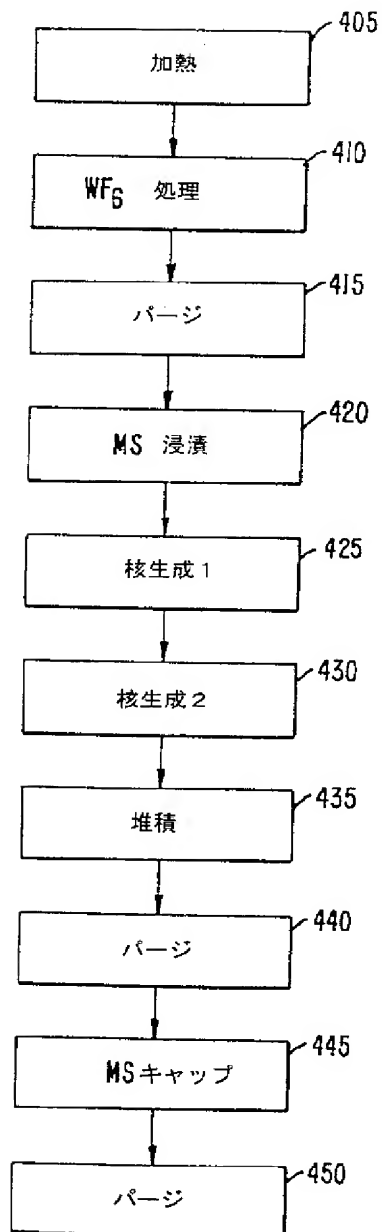
【図8】



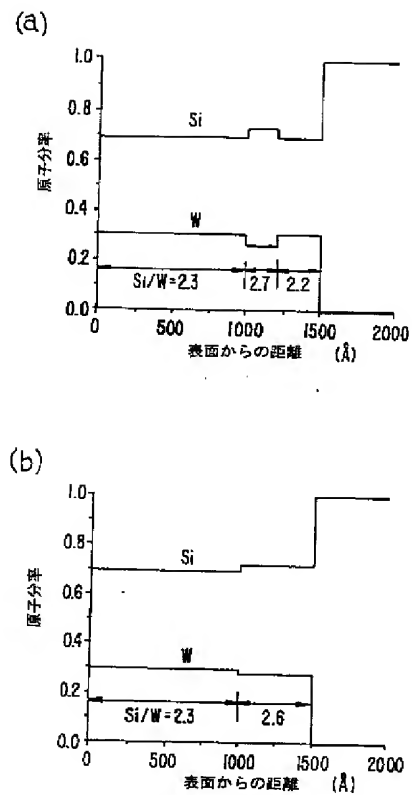
【図5】



【図7】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 メイ チャン  
 アメリカ合衆国、 カリフォルニア州、  
 サラトガ、 コーテ デ アーグエロ  
 12881